

#5 PB
2/14/02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re patent application of

S. Kittaka et al.

Serial No.: (no assigned)

Examiner: not yet assigned

Filing Date: February 14, 2002

Group Art Unit: Unknown

For: Optical Coupling System and Optical Device Using the Same

Assistant Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

11017 U.S. PTO

10/073958



02/14/02

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Patent Application Number P2001-038412 dated February 15, 2001 which application the claim for priority is based.

Respectfully submitted,

Marshall M. Curtis
Registration No. 33,138
703-787-9400

Dated: Feb. 14, 2002



30743

PATENT TRADEMARK OFFICE

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

11017 U.S. PRO
10/073958
02/14/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 2月15日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-038412

[ST.10/C]:

[JP2001-038412]

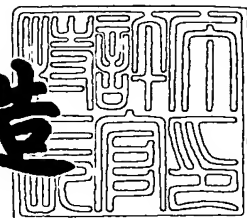
出 願 人
Applicant(s):

日本板硝子株式会社

2002年 2月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3004312

【書類名】 特許願

【整理番号】 00P528

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 橘高 重雄

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 永田 秀史

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 中澤 達洋

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 佐々木 康二

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号 日本板硝子株式会社内

 【氏名】 谷山 実

【特許出願人】

 【識別番号】 000004008

 【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100069084

 【弁理士】

【氏名又は名称】 大野 精市

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012298

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706787

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結合光学系およびそれを用いた光学素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源から出射されるガウシアンビーム状の光束を正の屈折力を有する第 1 のレンズにより略平行光束に変換し、該略平行光束を前記第 1 のレンズと同一のレンズであって光入出射面を逆向きに配置した第 2 のレンズに入射し、該第 2 のレンズにより収束光に変換された光束を受光手段に入射する結合光学系において、両レンズ間の距離 $2L$ を、

$$1. \quad 0.8L_{\max} \leq 2L \leq 2L_{\max}$$

の範囲とすることを特徴とする結合光学系。

ただし、両レンズから等距離の位置にビームウエストを形成することが可能な最大間隔を $2L_{\max}$ とする。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の結合光学系における結合損失が、前記両レンズ間の距離 $2L$ が $0 \leq 2L < 0.8L_{\max}$ の範囲にある場合に生じる結合損失と等しいかもしくは小さいことを特徴とする結合光学系。

【請求項 3】

光源から出射されるガウシアンビーム状の光束を正の屈折力を有するレンズにより略平行光束に変換し、前記略平行光束をレンズ後方に配置した反射面により反射させて前記レンズに戻し、該レンズにより収束光に変換された光束を光源の位置もしくはその近傍に配設した受光手段に入射する結合光学系において、前記レンズと反射面の距離 L を

$$0.9L_{\max} \leq L \leq L_{\max}$$

の範囲とすることを特徴とする結合光学系。

ただし、レンズによりビームウエストを形成することが可能な最大距離を L_{\max} とする。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の結合光学系における結合損失が、前記レンズと反射面の間の

距離 L が $0 \leq L < 0.9 L_{\max}$ の範囲にある場合に生じる結合損失と等しいかもしくは小さいことを特徴とする結合光学系。

【請求項 5】

請求項 2 または 4 に記載の結合光学系における結合損失が、 0.05 dB 以下であることを特徴とする結合光学系。

【請求項 6】

前記光源および受光手段が互いにモードフィールド径が等しい光ファイバの端面であることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 7】

前記光源および受光手段を 1 本の光ファイバの端面で兼用したことを特徴とする請求項 3 に記載の結合光学系。

【請求項 8】

前記正の屈折力を有するレンズが半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズであることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 9】

前記正の屈折力を有するレンズが光軸方向に屈折率分布を有する平凸レンズであることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 10】

前記正の屈折力を有するレンズが均質な材料からなる平凸レンズであることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 11】

前記正の屈折力を有するレンズが均質な材料からなる球レンズであることを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 12】

前記正の屈折力を有するレンズが回折レンズ面を有することを特徴とする請求項 1 または 3 に記載の結合光学系。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の結合光学系において、両レンズの中間に光学機能素子を設置したことを特徴とする光学素子。

【請求項 1 4】

前記光学素子において、同一の結合光学系が 1 列もしくは複数列のアレイ状に配列されていることを特徴とする請求項 1 3 に記載の光学素子。

【請求項 1 5】

請求項 2 に記載の結合光学系において、レンズと反射面の中間に光学機能素子を設置したことを特徴とする光学素子。

【請求項 1 6】

前記光学素子において、同一のレンズが 1 列もしくは複数列のアレイ状に配列されていることを特徴とする請求項 1 5 に記載の光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システムに関し、特に光ファイバと組み合わせて用いられるコリメータ対光学素子に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバ通信網の容量の増大が強く求められており、その手段として WDM（波長多重）通信の開発が急速に進められている。WDM 通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、光学フィルタ、光アイソレータ、光サーキュレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0 0 0 3】

上記の光学機能素子においては、出射側光ファイバの端面から出射された光をコリメータによって平行光束とし、フィルタやアイソレータの機能を有する平板状の光学機能素子を透過させた後に、再び集光レンズによって集光して入射側光ファイバの端面に送り込む、といった構成をとることが多い。コリメータ及び集

光レンズとしては、半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズ、ガラス製球レンズや非球面成形レンズなどが使用されている。形状と収差補正の点では屈折率分布型ロッドレンズが最も使い易いレンズである。

【0004】

図1は、一例として均質な材料からなる第1の平凸レンズ3、第2の平凸レンズ4を用いたコリメータ平行対の模式図である。通常の平行対では、両側に同一のレンズ（レンズ厚： Z ）2個を距離 $2L$ を隔てて配置する。また、図1のようにレンズ面の形状が非対称なレンズにあっては、両レンズ3、4を互いに逆向きになるようにする。すなわち、図1の場合、第1のレンズ3では平面30側を入射面とし、曲面130側を出射面とする。第2のレンズ4では逆に曲面140側を入射面とし、平面40側を出射面とする。曲面130、140は球面の場合と非球面の場合とがある。さらに入射側光ファイバ1（以下、光源ファイバという）と出射側光ファイバ2（以下、受光ファイバ）にはモードフィールド径の等しい同一特性の光ファイバを用いる。光源ファイバ1の端面10とレンズ3の入射面30、レンズ4の出射面40と受光ファイバ2の端面20の距離 WD を等しくして、完全な対称光学系とする。

【0005】

図1は光線5を表示した幾何光学的模式図である。しかし実際に単一モード光ファイバから出射される光束は図2に示すようにガウシアンビームとみなすことができる。この場合、コリメータ平行対により良好な結合効率を得るためには、両レンズ3、4の中心にガウシアンビーム7のビームウエスト（BW）26が形成されるように配置する必要がある。すなわち、光源ファイバ1からの出射光17に対応する第1のビームウエスト16（半径 w_1 ）が光学系の中心で一旦、第2のビームウエスト26（半径 w_2 ）を形成し、さらに第2のレンズ4により第3のビームウエスト36（半径 w_3 、 w_1 と等しい）の位置で受光ファイバ2に結合させる。

【0006】

ここで、使用波長、光ファイバのNA（開口数）、レンズの焦点と主点位置が既知であれば、図2の構成における WD と L は光線行列の要素を用いたいわゆる

A B C D 則の計算によって設計することができる。理論的には、たとえば河野健治著「光デバイスのための光結合系の基礎と応用」現代工学社（1991年）に詳しい数式が示されており、また市販の光学設計ソフトウェアのなかにも A B C D 計算機能を備えたものがある。

ただし、レンズ間距離すなわちレンズ 3 または 4 と第 2 の B W 2 6 の距離 L には最大値 L_{\max} が存在するので、それ以上の大きな値とすることはできない。焦点距離 f のレンズについて、 WD と L の関係を模式的に示すと図 3 のようになる。

【0007】

このような結合光学系では光源ファイバから出射する光パワーと受光ファイバに入射する光パワーの比、すなわち結合効率または結合損失が重要な特性パラメータである。 L が L_{\max} 以下であれば、適当な WD を選ぶことにより、理論的に 100% の結合効率（結合損失 0 dB）を得ることができるが、 L が L_{\max} を超えると結合損失は急速に増大する（図 4）。なお、 L_{\max} の値は概略レンズ焦点距離の 2 乗に比例して大きくなる。

【0008】

なお、上記では完全な対称光学系を例に説明したが、光源が光ファイバでなく半導体レーザのような発光素子であったり、受光側もフォトダイオードのような光検出器である結合光学系もあり、このような場合も上記のようなガウシアンビームを適用した設計ができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記 A B C D 計算による結果は近軸データのみに基づいたものであり、各レンズは無収差であり、有効径の不足によるケラレの影響もないということを前提としている。実際の光学系で用いるレンズでは残存する各種収差などによる損失が発生することが避けられない。そのために、レンズ間距離 $2L$ と結合損失の関係も図 4 に示されるように単純なものとなるとは限らない。また、温度や湿度の変化によってレンズの焦点距離や収差状況が変化すれば、結合損失も変動することが考えられる。またレンズや光ファイバを保持する部品の体積や長さの

変動も結合損失の原因となる。

【0010】

本発明は上記のような問題点を解決するためになされたもので、ある程度の収差、欠点、環境による変化等が存在する結合光学系について、結合損失を最小とするような構成条件を提供するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明における結合光学系の第1の態様は、光源から出射されるガウシアンビーム状の光束を正の屈折力を有する第1のレンズにより略平行光束に変換し、この略平行光束を第1のレンズと同一のレンズであって光入出射面を逆向きに配置した第2のレンズに入射し、第2のレンズにより収束光に変換された光束を受光手段に入射する結合光学系において、両レンズの間隔を、両レンズから等距離の位置にビームウエストを形成することが可能な最大間隔に略一致させたことを特徴としている。

【0012】

すなわち、両レンズ間の距離を $2L$ 、両レンズから等距離の位置にビームウエストを形成することが可能な最大間隔を $2L_{\max}$ とするとき、距離 $2L$ が、

$$1. \quad 8L_{\max} \leq 2L \leq 2L_{\max}$$

の範囲にあることが望ましい。

さらに上記第1の態様の結合光学系における結合損失が、前記両レンズ間の距離 $2L$ が $0 \leq 2L < 1.8L_{\max}$ の範囲にある場合に生じる結合損失と等しいかもしくは小さくなるようにする。結合損失値は 0.05 dB 以下であることが望ましい。

【0013】

本発明における結合光学系の第2の態様は、光源から出射されるガウシアンビーム状の光束を正の屈折力を有するレンズにより略平行光束に変換し、この略平行光束をレンズ後方に設置した反射面により反射させてレンズに戻し、レンズにより収束光に変換された光束を光源の位置もしくはその近傍に配設した受光手段に入射する結合光学系において、レンズと反射面の距離を、レンズによりビーム

ウエストを形成することが可能な最大距離に略一致させたことを特徴としている。

【0014】

すなわち、レンズと反射面の距離を L 、レンズによりビームウエストを形成することが可能な最大距離を L_{\max} とすると、距離 L が、

$$0.9 L_{\max} \leq L \leq L_{\max}$$

の範囲にあることが望ましい。

さらに上記第2の態様の結合光学系における結合損失が、前記レンズと反射面の距離 L が $0 \leq L < 0.9 L_{\max}$ の範囲にある場合に生じる結合損失と等しいかもしくは小さくなるようにする。結合損失値は0.05 dB以下であることが望ましい。

【0015】

前記の光源および受光手段には互いにモードフィールド径が等しい光ファイバの端面を用いることができる。なお、第2の態様の結合光学系の場合には、1本の光ファイバの端面を光源と受光手段に兼用することができる。

【0016】

前記の正の屈折力を有するレンズとしては、半径方向に屈折率分布を有するロッドレンズ、光軸方向に屈折率分布を有する平凸レンズ、均質な材料からなる平凸レンズ、均質な材料からなる球レンズ、回折レンズ面などを用いることができる。

【0017】

上記第1の態様の結合光学系において、両レンズの中間に光学機能素子を設置することにより光学素子が構成できる。また第2の態様の結合光学系において、レンズと反射面の中間に光学機能素子を設置することにより光学素子を構成できる。さらにこれらの光学素子において、同一の結合光学系を1列もしくは複数列のアレイ状に配列することもできる。

【0018】

レンズ間またはレンズ-反射面間の距離を、レンズによりビームウエストを形成することが可能な最大距離に対応するように設定した本発明の結合光学系は、

理想的な光学系に対してある程度の収差の増加や欠点が生じた場合や、光学系の性能が環境変化等によって変動した場合にもその結合損失の変動が小さい。さらに、本発明の結合光学系を応用した光学素子は理想的設計条件からのずれや環境変動に対して性能の変動が小さい。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

図3のグラフに、焦点距離が f よりわずかに長い($f + \Delta f$)レンズにおける関係を重ねたものが図5である。例えば $WD = WD_1$ のとき、両レンズにおける L 値の差(ΔL)は、焦点距離の違いによる第2のBW位置の差を表わしている。

ところで、図5において L 値が L_{max} に近い値になるように WD を設定すると、 ΔL の値が非常に小さい値となることがわかる。これは、 L 値が L_{max} に近くなると、焦点距離が変化しても第2および第3のBW位置の変動は小さいことを意味する。

【 0 0 2 0 】

実際の平行対光学系について、BW位置と結合損失の関係を計算した結果（後述する設計例）によると、

①平行対のレンズ間距離を $2 L_{max}$ 近傍に設定する。

②何らかの原因による両レンズの焦点距離の変動は互いに等しい。

の両条件が満たされる場合には、焦点距離の変動による結合損失の増大が非常に小さくなることがわかる。

【 0 0 2 1 】

結合損失の増大を引き起こすBW位置の変動の原因としてはつぎの点を考慮する必要がある。

(1) レンズの軸上色収差により、使用波長の波長差によってBW位置が変動する。

(2) 使用状態において予想される温度、湿度などの環境が変動することにより、使用波長におけるレンズの焦点距離が変化することによってBW位置が変動する。

(3) 使用状態において予想される温度、湿度などの環境が変動することにより、光学系を保持する構造体の体積変化や光学系の途中に設置された媒体の屈折率変化によってBW位置が変動する。

(4) レンズに光軸非対称が存在し、光軸上で非点収差などが発生すると、BW位置が複数個存在することになる。

(5) レンズの複屈折によって、BW位置が複数個存在することになる。

【0022】

これらの要因に応じて、本発明による「レンズ間距離に L_{max} に一致させる構成」は、以下に列挙するような具体的な場合に対して有効である。

【0023】

[1] 軸上色収差の大きいレンズを使用する場合

WDM（波長多重通信）に用いるレンズ対の場合、軸上色収差が大きいと設計基準波長から離れた波長では結合損失が増大する。しかし、本発明の構成とすれば、軸上色収差の影響を小さく抑えることができる。色収差の大きいレンズとしては、キノフォーム形状の回折レンズ、焦点距離の長いガラス製単レンズ、プラスチックレンズ等がある。特に回折レンズは軸上色収差が著しく大きい（ガラス凸レンズの数10倍）ため、本発明の構成は特に有効である。

【0024】

[2] 環境（温度、湿度など）による変化の大きいレンズの場合

プラスチック非球面レンズはプレスにより量産できるので安価であるが、温度、湿度による焦点距離や収差の変動がガラスレンズなどに比べて非常に大きい、という問題点がある。しかし、本発明の構成によれば、上記の原因による結合損失の変動を小さくすることができる。

【0025】

[3] 環境による変動を特に小さく抑える場合

通信用の光学系においては、レンズのみならず装置全体で温度による特性の変動を小さく抑えること（アサーマル性）が厳しく求められることが多い。アサーマル性を良くするには、装置全体を一定温度に保つ、温度変化の少ない材料を使う、材料の組合せによって温度変化を相殺する、などの方法がとられている。こ

これらの方法に加えて本発明の構成をとれば、光路長の変化に起因する結合損失の変動を小さく抑える効果がある。

【0026】

[4] 歪のあるロッドレンズの場合

光軸方向に屈折率分布を有するロッドレンズは、光軸からの距離によって素材の熱膨張率も変化するので、半径方向の歪が残留することが多く、特に焦点距離の長いものでは歪量が大きくなる。歪のあるレンズでは、複屈折現象により入射光の偏光方向によって焦点距離が異なることから、焦点がボケて結合損失が大きくなる。しかし、本発明の構成によれば、焦点距離に差があってもBWの位置が揃うのでシャープな焦点となり、結合損失を小さくすることができる。

【0027】

図6に示すように、図2のレンズ中間の第2のビームウエスト26の位置に相当する位置に反射鏡8を設置して、光源ファイバ、受光ファイバを兼ねる光ファイバ11に光を送り返す構成としても、本発明の効果は同様に発揮される。図6の場合は、前記条件、

①平行対のレンズ間隔を $2L_{\max}$ 近傍に設定する。

②何らかの原因による両レンズの焦点距離の変動は互いに等しい。

のうち②は常に満たされている。従って、レンズ13と反射鏡8の間隔を L_{\max} に近い値とすれば、使用するレンズに、

- ・ 光軸非対称による収差（光軸上で発生する非点収差など）
- ・ 焦点距離の基準値からのばらつき
- ・ レンズ厚さの基準値からのばらつき

といった欠点が多少存在していても、これらに由来する結合損失の増大を抑える効果がある。

【0028】

なお、図7に示すように光源ファイバ21と受光ファイバ22が近接した別個のものであっても、図6の構成と同様の効果が得られる。

具体的なレンズ系について、非点収差量と結合損失の関係を計算した結果を以下に説明する。計算は、米国Sinclair Optics社製レンズ設計ソフト"OSLO Six"

を用いて行なった。

【0029】

〔設計例1〕

回折レンズによるコリメータ平行対を設計して、結合損失を計算した。

(回折レンズの設計値)

単レンズの構成を図8に示す。厚さ Z_g : 1 mm の石英ガラス9の表面に、焦点距離 1 mm、 $NA = 0.2$ の回折レンズ(キノフォーム形状) 25を設定した。設計波長 λ は 1550 nm であり、1次光による焦点を利用する。

回折面による波面は、光軸50からの距離 r に対して放物線状とした。

$$\text{波面関数: } \phi(r) = (2\pi/\lambda) \cdot d_{f1} \cdot r^2$$

$$\text{定数: } d_{f1} = -0.500$$

$$\text{ゾーンの深さ (zone depth) : } 0.00351 \text{ mm}$$

$$\text{軸上の波面収差: } RMS-OPD = 0.0062\lambda$$

とした。なお、球面収差は無視でき、高次項による補正の必要はない。

【0030】

(軸上の色収差)

3波長(1520、1550、1580 nm)における、無限系単レンズの縦収差を図9に示す。軸上の色収差が極めて大きく、 $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ に対して焦点位置が $20 \mu\text{m}$ ほど移動することがわかる。これは回折レンズの問題点である。

【0031】

(コリメータ平行対の結合効率)

図10に示すように、上記同様、石英ガラス19、29の表面に形成した回折レンズ23、24を平行対としてモードフィールド径の等しい光源ファイバ1と受光ファイバ2の間に対称配置した場合について、以下の手順により結合損失を計算した。計算にあたってはBWの径と位置(ABCD計算による)は考慮したが、表面反射、内部吸収、回折効率、球面収差による損失は無視している。光源ファイバ1と受光ファイバ2はともに波長 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ において、 $NA = 0.1$ ($1/e^2$ 強度) とする。

【0032】

(1) 最初にレンズ間距離 $2L$ を設定して、ビームウエストが中間に来るように WD を最適化する。

(2) $\lambda = 1550 \text{ nm}$ での結合損失を計算する。

(3) 同じ構成のまま、両光ファイバの条件を $\lambda = 1520 \text{ nm}$ において $NA = 0.1$ として、 $\lambda = 1520 \text{ nm}$ における結合損失を計算する。

(4) 光源 $\lambda = 1580 \text{ nm}$ として同様に結合損失を計算する。

【0033】

(a) L の短い場合

$L = 0.0836 \text{ mm}$ 、 $WD = 0.3053 \text{ mm}$ とした場合の計算結果を表 1 に示す。

$\lambda = 1550 \text{ nm}$ での結合損失は小さい。しかし、 λ が変わると受け側での BW 位置が大きく移動するので、 $\Delta\lambda = \pm 30 \text{ nm}$ の範囲で $0.5 \sim 0.8 \text{ dB}$ の大きい損失が発生する。

【0034】

【表 1】

波長 λ (nm)	光源 BW 半径 w_1 (μm)	受光側 BW 位置 (μm)	受光側 BW 半径 w_3 (μm)	結合損失 (dB)
1550	4.909	0	4.909	0.004
1520	4.814	40.48	4.993	0.753
1580	5.004	-37.59	4.831	0.551

【0035】

(b) $L = L_{\text{max}}$ の場合

本光学系では、 $WD = 0.3561 \text{ mm}$ の場合に $L_{\text{max}} = 11.237 \text{ mm}$ となる。計算結果を表 2 に示す。

$\lambda = 1550 \text{ nm}$ での結合損失は小さく、 L が短い場合に比べてほとんど変化しない。しかし λ を変えても受光側での BW 位置の変動が小さいので、結合損失はほとんど変化せず、 0.05 dB 未満に留まっている。

【 0 0 3 6 】

【表 2】

波長 λ (nm)	光源BW半径 w_1 (μm)	受光側BW位置 (μm)	受光側BW半径 w_3 (μm)	結合損失 (dB)
1550	4.909	0	4.909	0.004
1520	4.814	1.568	4.641	0.012
1580	5.004	-5.098	4.349	0.083

【 0 0 3 7 】

以上の結果から、最適設計波長である $\lambda = 1550\text{ nm}$ 近傍では、結合損失は小さく、またほとんどレンズ間距離 L に依存しないが、波長が最適設計波長から変化すると、結合損失は L に強く依存するようになることがわかる。しかし $L = L_{\text{max}}$ とした本発明の構成では、 L が L_{max} に比べて充分小さい場合（典型的には $L \sim 0$ の近接させた場合）に比べて、色収差による結合損失が大幅に小さくなる。すなわち本発明の結合光学系によれば、実際の回折レンズがもつ色収差による結合損失の影響を小さく抑えることができる。

【 0 0 3 8 】

なお、色収差の問題は回折レンズ以外のレンズでも多かれ少なかれ存在するため、本発明の構成における結合光学系は色収差のあるレンズ一般に対して有効である。

【 0 0 3 9 】

〔設計例 2〕

「非球面平凸レンズ」によるコリメータ平行対を設計して、凸面の R が変化した場合（非球面係数は一定）の結合損失を計算した。

（平凸レンズの設計値）

設計波長 λ を 1550 nm とし、ガラス屈折率 1.520 、レンズ厚 1.00 mm のレンズを設定した。凸面 R ： 1.716 mm 、非球面係数（4次項）： -0.0152 mm^{-4} として球面収差を補正した。

軸上の波面収差： $\text{RMS-OPD} = 0.0067\lambda$

焦点距離：3. 3 0 mm

NA：0. 2 0（有効径 ϕ 1. 3 2 mm）

とした。

【0 0 4 0】

（コリメータ平行対の結合効率）

図 1 1 に示すように、上記仕様の非球面平凸レンズ 4 3，4 4 を平行対としてモードフィールド径の等しい光源ファイバ 1 と受光ファイバ 2 の間に対称配置して、設計例 1 と同様に結合損失を計算した。

変数としては凸面 1 5 0、1 6 0 の R を、両レンズ同時に変化させた。波長 λ 、非球面係数、L、WD、レンズ厚 Z、ガラス屈折率は一定とした。

① L の短い場合（L = 5. 0 0 mm WD = 2. 6 4 2 5 mm）

② L = L_{max} の場合（L = 1 1 4. 8 mm WD = 2. 6 9 0 0 mm

）

についての計算結果を表 3 と図 1 2 に示す。

【0 0 4 1】

【表 3】

凸面 R (mm)	L=5.00mm			L=L _{max} =114.8mm		
	BW半径 w3(μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)	BW半径 w3(μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)
1.680	5.027	-140	4.608	2.681	-49.3	3.048
1.700	4.958	-61.8	1.341	4.075	-9.6	0.175
1.705	4.942	-42.4	0.661	4.456	-3.6	0.038
1.710	4.927	-23.1	0.187	4.755	-0.67	0.005
1.714	4.915	-7.7	0.013	4.887	-0.02	0.004
1.716	4.909	-0.04	0.004	4.907	0	0.004
1.718	4.903	7.6	0.046	4.895	0.02	0.004
1.722	4.892	22.9	0.280	4.781	0.66	0.005
1.730	4.869	53.5	1.241	4.303	6.6	0.103
1.740	4.843	91.5	2.885	3.583	22.6	0.399
1.750	4.818	129.4	4.569	2.971	43.2	2.271

【0 0 4 2】

この光学系においても、凸面 R が設計値の近傍であれば、L が L_{max} に比べて

小さい範囲において、結合損失はLにあまり依存しない。しかし図12に示すように、Lが短い場合、結合損失が0.05 dB以下となる $1/R$ の範囲は設計値に対して $\pm 0.004 \text{ mm}^{-1}$ 程度と極めて狭い。これに対して $L = L_{\text{max}}$ とした本発明の結合光学系では、結合損失が0.05 dB以下となる $1/R$ の範囲は、設計値に対して $\pm 0.02 \text{ mm}^{-1}$ 程度と大幅に拡大する。また、その値は常にLが短い場合に比べると小さい。以上の結果から、本発明の構成とすることにより、環境の影響等によって平凸レンズのRが変化して焦点距離が変動しても、結合損失の変動は非常に小さく抑えられることが明らかとなった。焦点距離の変化を引き起こすR以外の要因（屈折率の変動、レンズ厚の変動など）に対しても、同様な効果が得られる。したがって本発明の構成は非球面平凸レンズ以外の正の屈折力をもつレンズ一般に対して効果を有する。

【0043】

〔設計例3〕

「屈折率分布型ロッドレンズ」と反射鏡による光学系を設計して、ロッドレンズが光軸非対称である場合の結合損失を計算した。

（屈折率分布型ロッドレンズの設計値）

ロッドレンズの半径方向の屈折率分布は次式にしたがうとする。

$$n(r)^2 = n_0^2 \{1 - (g \cdot r)^2 + h_4 (g \cdot r)^4\}$$

ただし、 n_0 は軸上屈折率、 r は光軸からの距離、 g と h_4 は屈折率分布係数である。設計波長1550 nmにおいて、

n_0 : 1.600

レンズ長Z: 4.430 mm

$g = 0.326 (1/\text{mm})$

$h_4 = 0.67$

レンズ半径: 0.90 mm

軸上の波面収差 : RMS-OPD = 0.0050 λ

焦点距離: 1.933 mm

NA: 0.20 (有効径 ϕ 0.774 mm)

とした。

【 0 0 4 4 】

(光軸非対称がある場合の結合効率)

図 1 3 に示すように、上記仕様のレンズ 5 3 と入出射兼用の光ファイバ 1 1 を配置し、第 2 の B W 位置 2 6 に反射鏡による反射面 8 を設置した場合について結合損失を計算した。最初に、以下の表 4 に示す L 値に対して、最適 W D を求めた。

【表 4】

L(mm)	L/Lmax	WD(mm)
10.89	0.283	0.251
26.94	0.7	0.264
30.78	0.8	0.268
34.63	0.9	0.275
38.48	1	0.293

【 0 0 4 5 】

次に、反射面 8 と対向するレンズ面を曲率半径 R_c の円筒面として軸上の非点収差を発生させ、結合効率の変化を計算した。

波長 λ 、L、WD、レンズ長 Z_R などは一定とした。計算結果を表 5 と図 1 4 に示す。

【 0 0 4 6 】

【表 5】

Rc (mm)	L/Lmax=1.00				L/Lmax=0.90				L/Lmax=0.80				L/Lmax=0.70				L/Lmax=0.283			
	WD (μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)		WD (μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)		WD (μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)		WD (μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)		WD (μ m)	BW位置 (μ m)	結合損失 (dB)	
-100	4.441	-4.10	0.038		5.441	-0.28	0.023		5.883	-6.21	0.064		6.108	-15.09	0.138		5.592	-43.26	0.377	
-250	4.820	-0.32	0.006		5.219	-1.92	0.012		5.336	-5.05	0.025		5.375	-8.18	0.038		5.162	-16.81	0.108	
-500	4.884	-0.05	0.004		5.075	-1.33	0.007		5.124	-2.89	0.011		5.137	-4.34	0.015		5.032	-8.33	0.027	
-1000	4.902	-0.01	0.004		4.994	-0.75	0.005		5.016	-1.53	0.006		5.021	-2.22	0.008		4.970	-4.15	0.012	
-2000	4.907	0.00	0.004		4.952	-0.40	0.004		4.962	-0.78	0.006		4.964	-1.11	0.005		4.939	-2.01	0.007	
(平面)	4.909	0.00	0.004		4.904	0.00	0.004		4.909	0.00	0.004		4.908	0.00	0.004		4.909	0.00	0.004	
2000	4.909	0.00	0.004		4.864	0.45	0.004		4.855	0.83	0.004		4.852	1.18	0.004		4.879	2.06	0.003	
1000	4.906	0.00	0.004		4.819	0.95	0.005		4.801	1.70	0.005		4.797	2.36	0.005		4.849	4.12	0.005	
500	4.892	0.03	0.004		4.727	2.06	0.007		4.695	3.53	0.009		4.689	4.79	0.011		4.791	8.19	0.015	
250	4.835	0.27	0.004		4.537	4.78	0.021		4.487	7.55	0.033		4.482	9.85	0.042		4.679	16.23	0.081	
100	4.472	3.82	0.026		3.970	16.03	0.176		3.914	21.94	0.276		3.931	26.12	0.338		4.371	39.62	0.462	

【0047】

$R_c = 0$ の近傍では軸上非点収差は小さく、 L に対する依存性も小さい。しかし L/L_{\max} の値が 0.9 未満となると、結合損失が 0.05 dB 以下となる $1/R_c$ の範囲は $\pm 0.01 \text{ mm}^{-1}$ 程度と狭い。これに対して本発明の構成である $L/L_{\max} = 1$ の場合には、結合損失が 0.05 dB 以下となる R_c の範囲は $\pm 0.02 \text{ mm}^{-1}$ 以上に拡大する。なお、 L/L_{\max} が 1 を超えると、非点収差のない場合でもビームウェストを反射面上に形成することができないことから結合損失が発生するので、結合光学系として不適當である。

【0048】

以上の結果から、本発明の構成とすることにより、レンズに光軸非対称がある場合でも結合損失の変動は非常に小さく抑えられることが明らかとなった。光軸非対称を引き起こす上記レンズ外形上の要因以外の要因（屈折率分布の光軸非対称、芯取り不良、脈理など）に対しても、同様な効果が得られる。

【0049】

上記設計例 1～3 では回折レンズ面、平凸非球面レンズ、半径方向屈折率分布型ロッドレンズについて説明したが、正の屈折力を持ち、結合光学系を構成できるレンズであれば同様の効果が得られる。上記の他、球面レンズ、球レンズ、光軸方向屈折率分布型平凸レンズなどを用いることができる。

【0050】

なお、上記では光源、受光手段がともに光ファイバである場合について説明したが、光源はガウシアンビームを発するとみなせるものであれば半導体レーザなどであってもよい。また受光手段も受光素子などであってもよい。

【0051】

本発明の結合光学系はつぎのような光学素子として応用される。図 15 に示すように例えば図 11 の結合光学系の 2 つのレンズの間に光機能素子 100 を挿入する。光機能素子としては光学フィルタ、光アイソレータ、光変調素子、光スイッチ素子などを使用できる。ほぼ平行な光ビームを入射することによって動作する素子であれば、広く適用できる。同一の結合光学系を複数アレイ状に設け、それぞれに同一機能または異なる機能をもつ光機能素子を挿入することもできる。

【0052】

例えば、複数波長が合波された波長多重光を複数の光源ファイバから出射させ、通過帯域の異なる帯域フィルタを各結合光学系に挿入すれば、受光ファイバにはそれぞれ異なる波長域の光が結合し、分波機能が得られる。本発明の構成の結合光学系は結合損失が極めて小さいので、特性のよい光学素子が得られる。

【0053】

また図16のように例えば図13の結合光学系に光機能素子を挿入してもよい。この場合、光は往復2度、光機能素子を通過することになる。図16はレンズ53-1、53-2、・・・、53-nを複数配列してアレイ状の結合光学系を構成した例を示している。上記同様、光機能素子100-1、100-2、・・・、100-nは目的に応じて同一でもよく異なるものでもよい。また反射面8は必ずしも複数配列する必要はなく、図のように1つの反射面8をすべての結合光学系に共通に使用してもよい。

【0054】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明による2個のレンズで構成される結合光学系を用いれば、レンズの本質的な欠点(色収差、歪による複屈折など)と環境の変化(温度、湿度など)による結合損失の変動をともに小さく抑えることができる。また、本発明による1個のレンズと反射鏡から構成される結合光学系を用いれば、レンズの欠点(焦点距離のばらつき、光軸非対称による非点収差)による結合損失の変動を小さく抑えることができる。このため、レンズに本質的な欠点がある程度存在しても、システムの性能に及ぼす影響が小さいため、製造上の許容範囲が広がり製品歩留りが向上する。また環境の変動に対する性能の変動が小さくなり、システムの信頼性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

コリメータ平行対による光ファイバの結合を幾何光学的に示した説明図である。

【図2】

コリメータ平行対による光ファイバの結合を模式的ガウシアンビームにより示した説明図である。

【図 3】

光ファイバとレンズの間隔 WD とレンズ間距離（半値） L の関係を模式的に示した図である。

【図 4】

理想レンズのレンズ間距離（半値） L と結合損失の関係を模式的に示した図である。

【図 5】

レンズの焦点距離 f が変化した場合の WD と L の関係を模式的に示した図である。

【図 6】

1 個のレンズ、1 本の光ファイバと反射面を用いた構成を説明する図である。

【図 7】

1 個のレンズ、2 本の光ファイバと反射面を用いた構成を説明する図である。

【図 8】

回折レンズの光路図である。

【図 9】

回折レンズの縦球面収差図である。

【図 1 0】

第 1 の設計例の結合光学系の構成を示す図である。

【図 1 1】

第 2 の設計例の結合光学系の構成を示す図である。

【図 1 2】

第 2 の設計例における結合損失の計算結果を示す図である。

【図 1 3】

第 3 の設計例の結合光学系の構成を示す図である。

【図 1 4】

第 3 の設計例における結合損失の計算結果を示す図である。

【図 1 5】

第 2 の設計例の結合光学系を用いた光学素子の構成を示す図である。

【図 1 6】

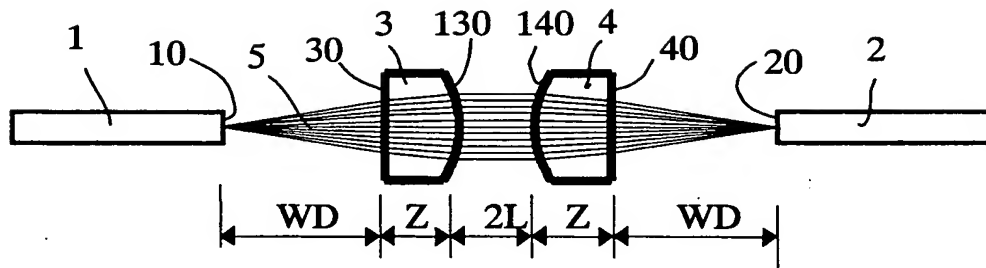
第 3 の設計例の結合光学系を複数用いた光学素子の構成を示す図である。

【符号の説明】

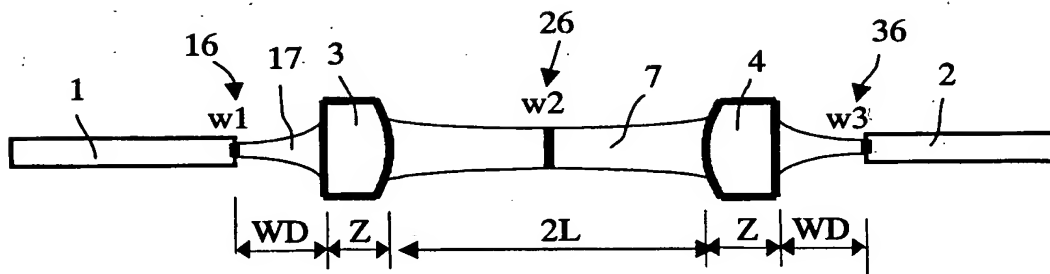
- 1、2 1 光源ファイバ
- 2、2 2 受光ファイバ
- 3、4、1 3 平凸レンズ
- 5 光線
- 7、3 7、4 7 ガウシアンビーム
- 8 反射面
- 9、1 9、2 9 石英ガラス
- 1 1 光ファイバ
- 1 6、2 6、3 6 ビームウエスト
- 2 3、2 4、2 5 回折レンズ
- 4 3、4 4 非球面平凸レンズ
- 5 3 屈折率分布型ロッドレンズ

【書類名】 図面

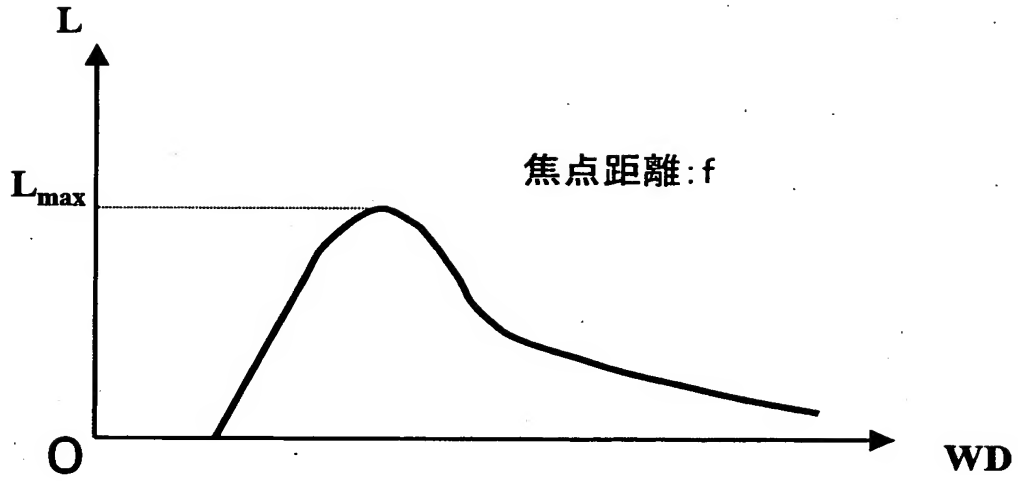
【図 1】



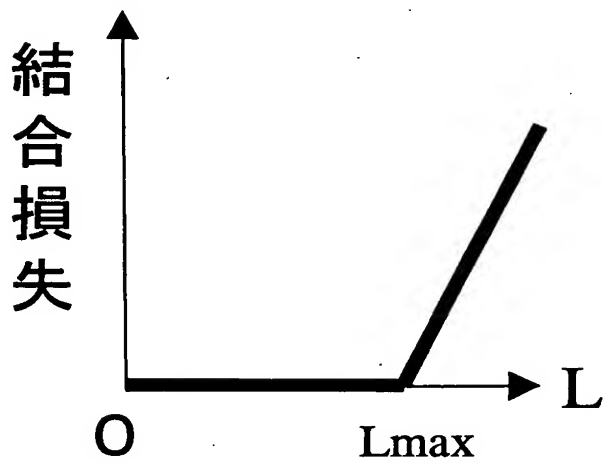
【図 2】



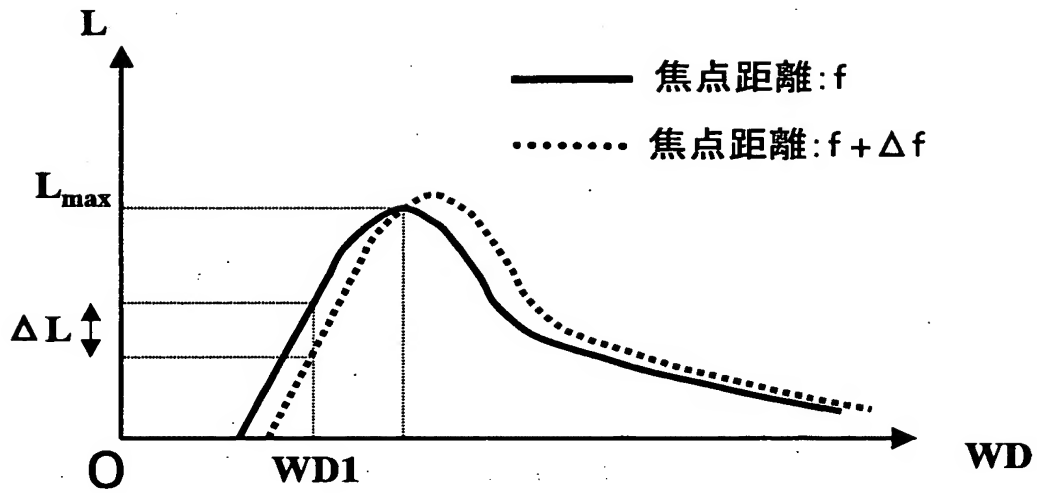
【図 3】



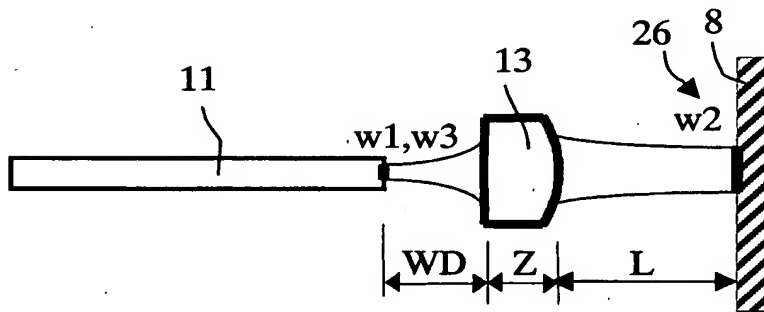
【図 4】



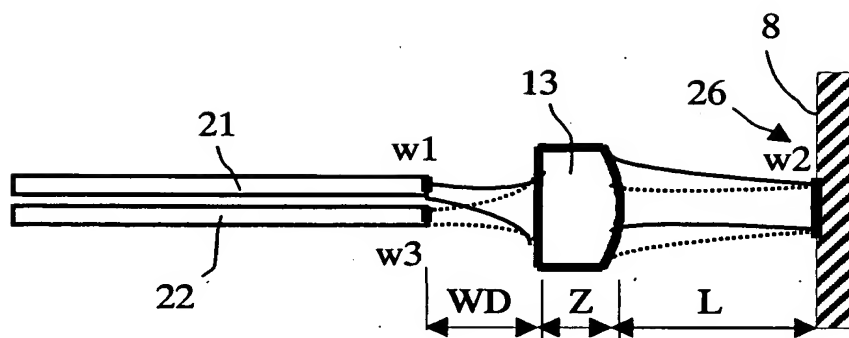
【图 5.】



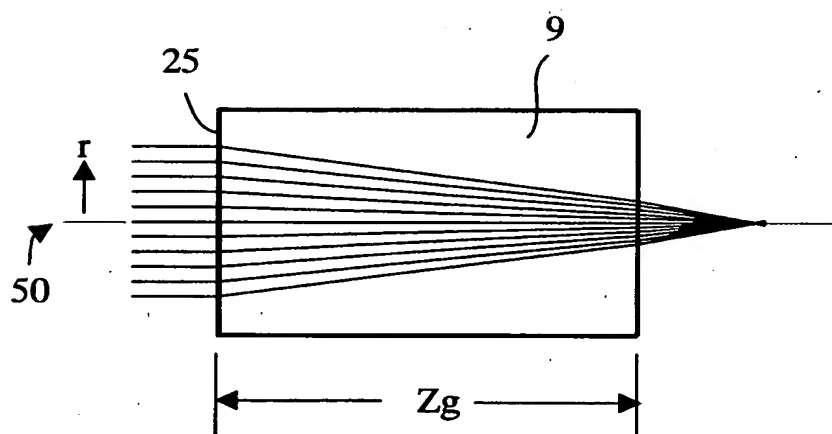
【图 6】



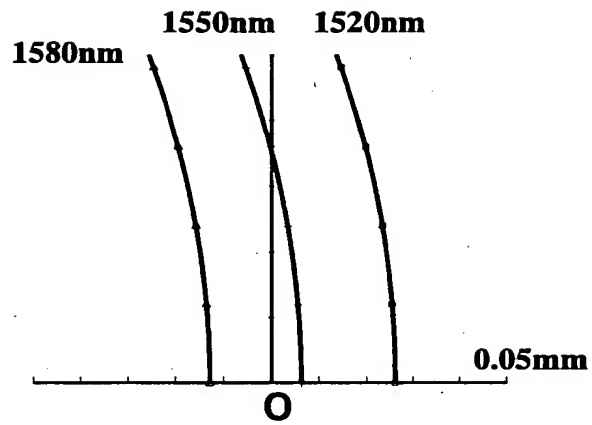
【図 7】



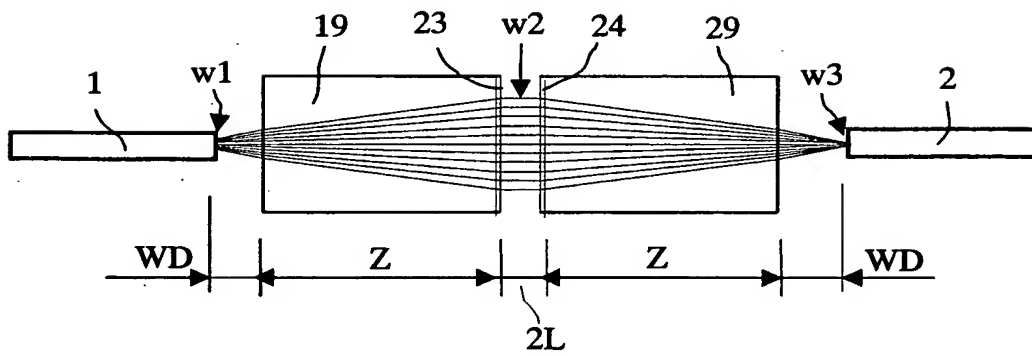
【図 8】



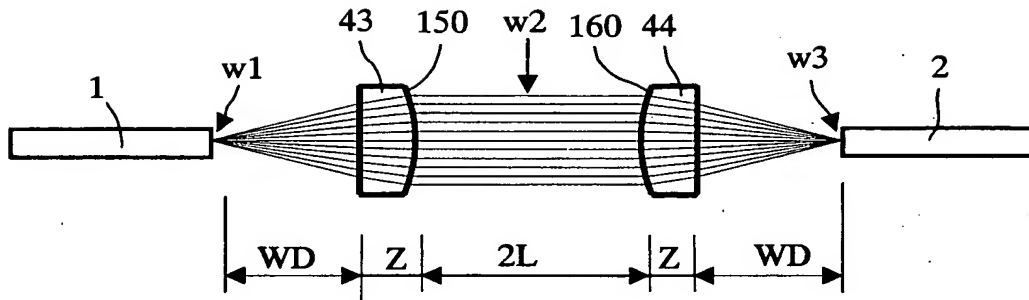
【図 9】



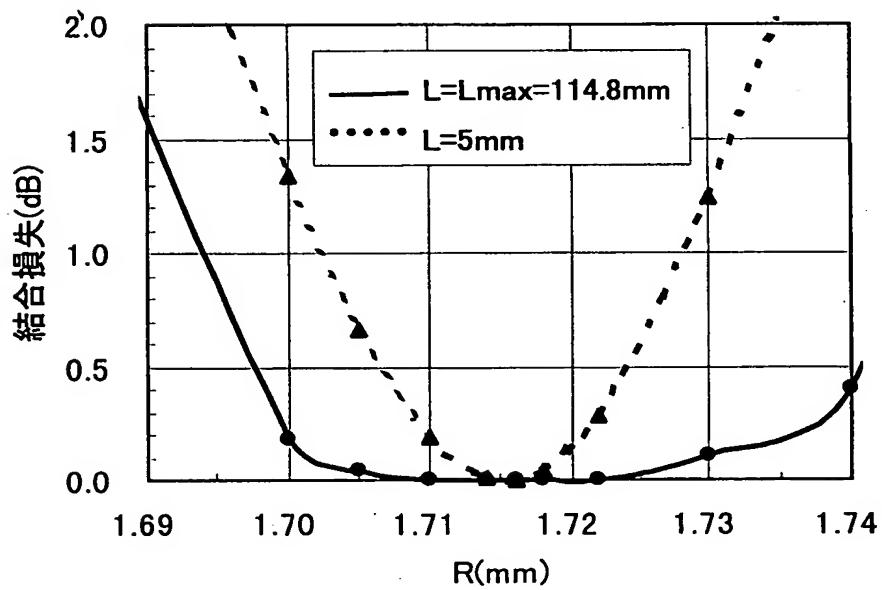
【図 1 0】



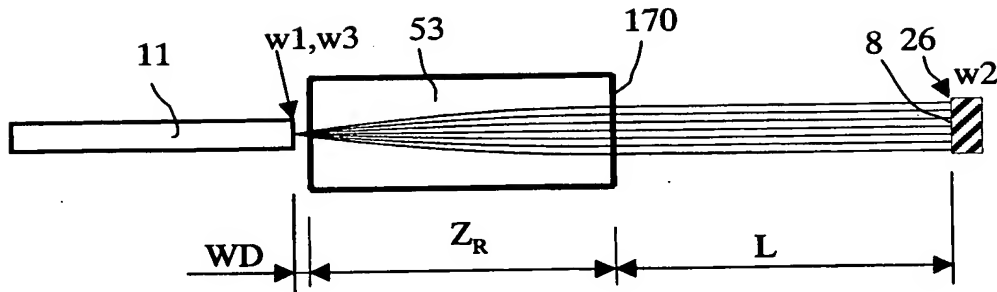
【図 1 1】



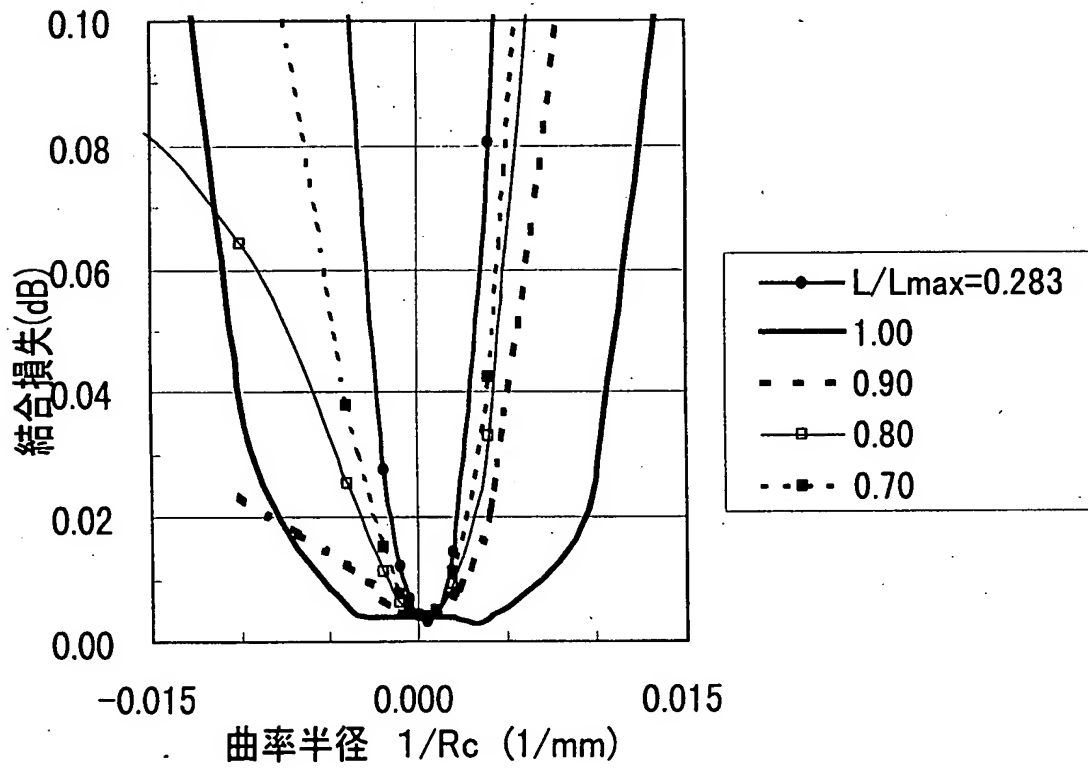
【図 1 2】



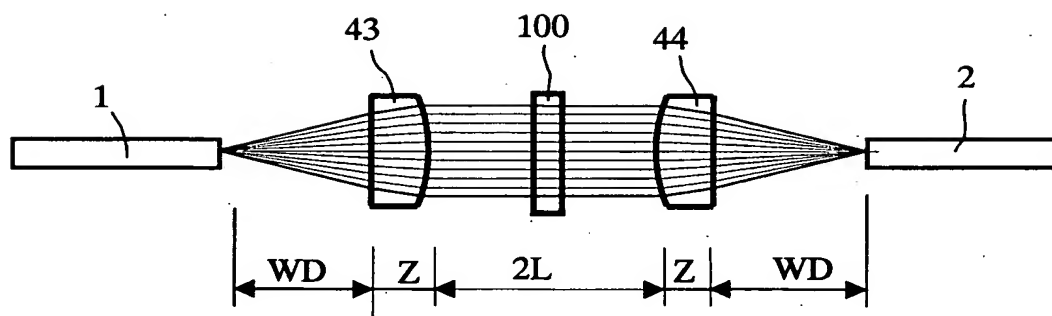
【図 1 3】



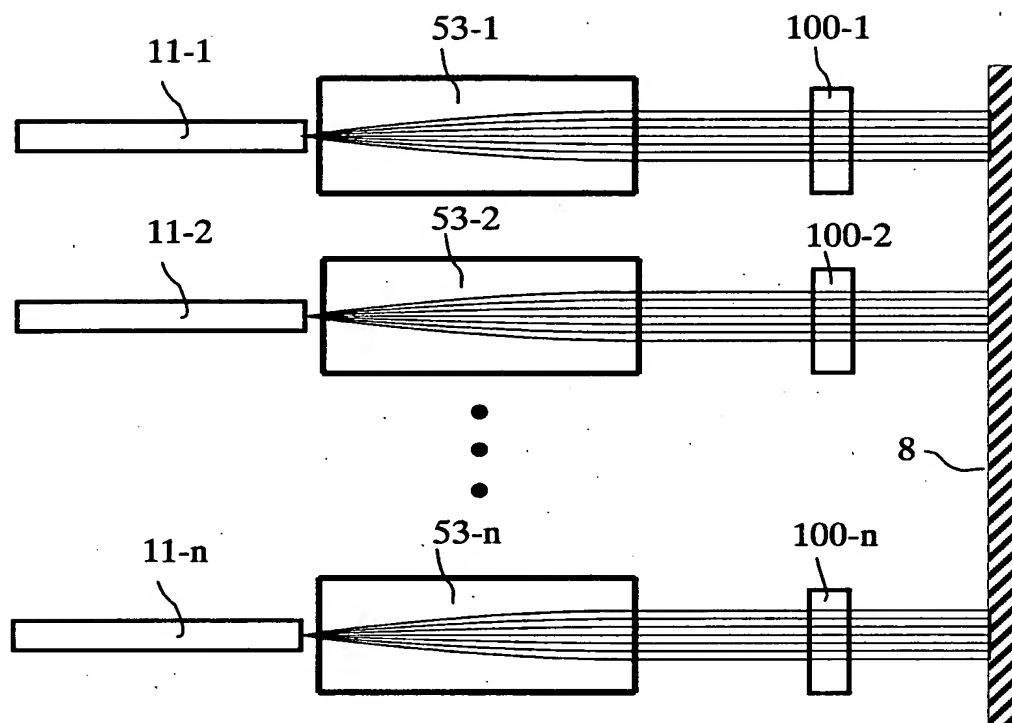
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実際の光学系で用いるレンズでは残存する各種収差などによる損失が発生することが避けられない。また、温度や湿度の変化によってレンズの焦点距離や収差状況が変化すれば、結合損失も変動することが考えられる。またレンズや光ファイバを保持する部品の体積や長さの変動も結合損失の原因となる。

【解決手段】 2 個のレンズを用いてコリメータ平行対を構成し、両レンズの間隔を、両レンズから等距離の位置にビームウエストを形成することが可能な最大間隔に略一致させる。

【選択図】 図 1 5

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-038412
受付番号	50100209412
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0097
作成日	平成13年 2月16日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成13年 2月15日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004008]

1. 変更年月日	2000年12月14日
[変更理由]	住所変更
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号
氏 名	日本板硝子株式会社